

서해 신안 장산 남부해역의 육상오염원 환경특성 분석

윤하얀¹ · 신용식^{1,2*}

¹국립목포해양대학교 연안하구연구센터

²국립목포해양대학교 환경·생명공학과

Environmental Characteristics of Shore Pollution Source in Southern Part of Sinan, Jangsando area in the West Coast, Korea

Hayan Yoon¹, Yongsik Shin^{1,2*}

¹Mokpo National Maritime University Coastal Estuarine Research Center, Mokpo 58628, Korea

²Department of Environmental Engineering & Biotechnology, Mokpo 58628, Korea

Corresponding Author

Yongsik Shin

Department of Environmental Engineering
& Biotechnology, Mokpo 58628, Korea

E-mail : yongsik@mmu.ac.kr

Received : October 17, 2017

Revised : October 24, 2017

Accepted : October 24, 2017

본 연구에서는 신안 장산도 남부해역 육상오염원의 위생상태와 영향 반경을 분석하였다. 배수 유역에 대한 해안선 조사를 실시해 오염원 종류를 구분하고, 해역으로 방출되는 오염원 유량과 위생상태를 분석하였으며 오염원의 영향 반경을 산정하였다. 육상오염원은 생활하수 21개소, 농업용수 1개소, 육상양식장 11개소로 총 33개소(St. 65~97)이었고 이 중 농업용수 1개소, 육상양식장 8개소의 오염원이 해역으로 배출되었다. 방출오염원의 유량은 72,857~281,250 l/min이었고, 분변계대장균은 St. 72(농업용수)에서 490 MPN/100 ml, St. 74(육상양식장)에서 49 MPN/100 ml로 비교적 높았다. 이들 영향 반경은 각각 4,389 m와 1,900 m로 나타났고, 해역의 안전한 위생을 확보하기 위해서는 이들 오염원들에 대한 관리 및 해수 위생조사가 필요할 것으로 판단된다.

This study examined the environmental characteristics of shore pollution sources in the southern part of the Sinan, Jangsando area in the West Coast of Korea. A shoreline survey of the watershed was conducted to identify the pollution sources and measure the water discharge rate and microbial hygiene of water and finally estimate the possible impact area of pollution. Forty five of pollution sources in total were identified and they were grouped into sewage (33), agriculture waste water (1) and waste water from inland fish farm (11). Nine among them were discharged into the seawater and discharge volume was 72,857~281,250 l/min. Fecal coliforms of St. 72 (sewage) and St. 74 (shrimp farm) were 490 MPN/100 ml and 49 MPN/100 ml and the impact zones of the pollution were 4,389 m and 1,900 m respectively.

Keywords: Jangsando(장산), Shore pollution source(육상오염원), Seawater environment(해양환경), Fecal coliform(분변계 대장균), Sanitary characteristics(위생학적 특성)

서론

국내의 1인당 연간 수산물 소비량은 2001년 42.2 kg에서 2015년 59.9 kg으로 지속적인 증가 추세를 보인다. 수산물 소비증가는 수산물이 건강식품으로 소비자에게 인식되면서 선호도가 높아졌기 때문으로 분석되는데(Korea Rural Economic Institute, 2017) 이런 성장에는 항상 안전에 대한 불안감도 함께 증가된다. 따라서 해역의 안전성 확보는 필수적인 단계라 할 수 있고, 수산물에 대

한 안전한 양식환경의 기반조성을 위해서는 체계적인 기술개발이 필요한 실정이다. 현재 국내에서는 1972년 한·미 패류위생협정 체결로 KSSP (Korean Shellfish Sanitation Program)를 수립·운용하여 수출용 패류생산지정해역 7지점을 관리하고 있으며 계속적으로 지정해역 추가를 추진하고 있다. 이에 따라 해양수산부에서는 2005년부터 우리나라 연안의 신선한 수산물 공급을 위해 62개 해역을 대상으로 안전성평가를 실시하고 있다(Lee, 2013).

해역의 안전성평가를 통해 수산물의 위생상태를 확인하고자 하

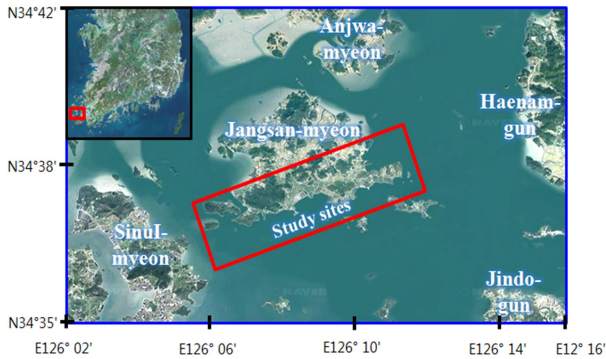


Fig. 1. Shoreline survey sites of Jangsan-myeon sub-area in Sinan.

는 연구는 1961년 이후(Choi et al., 1974) 인천 연안해역의 비브리오(Hwang et al., 2008), 복신만(Choi, 1995) 자란만(Choi et al., 1998), 진해만(Choi and Kim, 2002) 및 통영항 연안해역의 대장균 군 및 대장균(Park et al., 2015)을 대상으로 수행되었고, 태안 패류생산해역(Song et al., 2008), 남해안 패류생산해역(Kwon et al., 2007), 강진만(Park et al., 2010) 등에서 위생실태와 관련된 자료들이 지속적으로 보고되고 있다. 수산물의 서식환경은 육상환경과 해역의 개방적인 특성으로 인해 육상오염원의 영향을 받을 수 밖에 없는 조건으로 본 연구에서 육상오염원의 환경적 특성을 분석하여 선정된 해역의 위생적인 범주를 확인하고자 하였다. 대상해역은 신안 장산을 중심으로 한 남부해역으로 대마난류, 남해 고유 연안수, 중국대륙 연안수, 황해저층 고유 냉수가 만나는 길목으로 수산해양학적인 의미가 있는 수역이다(Cho et al., 2009). 또한 신안 인근해역은 돌김을 전남에서 가장 많이 양식하는 지역으로 보고되어 있다(Ministry of Oceans and Fisheries, 2014). 하지만 이 해역에 대한 육상오염원의 현황 및 영향 반경에 대한 조사는 아직까지 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구를 통해 신안 장산도 남부해역 육상오염원의 환경적인 특성을 규명함으로써 해역의 고유한 환경가치를 보전하면서 수산자원의 지속적인 이용에 필요한 기초자료 확보에 기여하고자 한다.

재료 및 방법

1. 육상오염원 조사지점

신안군은 유인도 72개, 무인도 932개의 도서로만 형성되어 있어 산악이 없고, 연안해변은 굴곡이 심하며 천해 간석지가 광활하고 물이 얇아 갯벌이 발달되어 있다. 이런 지형적 특성으로 대형 선박이 자유로이 왕래할 수 없는 지역이 많고 다도해로서 하천이 거의 없다. 장산면은 전라남도 신안군의 남동부에 위치한 도서로 동으로는 해남군 화원반도와 마주하고 있고, 남서방향에는 신의면

과 하의면, 남과 북으로는 진도와 안좌면이 위치하고 있다(Fig. 1). 면적은 24.1 km², 해안선 길이는 35.2 km로 총 40여개의 섬으로 이루어져 있으며, 해양성 기후의 영향을 받아 식물이 잘 자라서 각종 농산물이 생산되고 있다(Sinan Statistical Year Book, 2016). 또한 천해의 갯벌을 이용해 전복, 굴, 가리비 등의 양식이 이루어지고 있다. 장산면은 7개의 리로 이루어져 있는데 팽진리, 다수리 2개의 리가 신안 장산도 남부해역에 인접한 행정구역이다. 신안 장산도 남부해역(Fig. 1)에 대한 육상오염원의 소재 확인을 위해 일별로 10개소씩 2016년 7월 29일, 8월 2일, 8월 4일, 10월 19일로 총 4차에 걸쳐 배수유역에 대한 해안선 조사를 실시하였다. 현장 방문하여 조사된 오염원들의 종류를 생활하수, 농업하수, 육상양식장 등으로 구분하여 분포 현황을 파악하였으며 오염원의 해역 방출 유무를 파악하여 오염도 현황을 조사하였다.

2. 해역방출오염원 유량측정 및 위생학적 특성

해역으로 방출되는 오염원의 배출파이프의 지름을 현장에서 실측하고, 유량측정을 위해 5 l 핸드버커로 10 sec 동안의 오염원을 수거하여 메스실린더에 측정 후 min 단위로 환산하여 산출하였다. 이 후, 멸균된 광구병 250 ml에 약 200 ml 가량의 시료를 확보하여 위생학적 특성 실험에 이용하였다. 해역방출오염원의 위생학적 특성 실험에서는 한국식품의약품안전처에서 제안한 미국 APHA (American Public Health Association, 1970)에 준하여 균수를 산출하였다. 추정시험은 유당액체배지(Laurly Tryptose Broth, Difco, USA) 10 ml에 시료를 각각 연속희석법으로 5단계를 희석하여 각 단계마다 5개 시험관을 사용하였다. 접종된 시험관은 35.5±0.5°C의 배양기에서 48±2 hr 배양하였고, 가스가 생성된 시험관으로 확정시험을 실시하였다. 확정시험에서는 BGLB 배지(Brilliant Green Bile Broth, Difco, USA) 10 ml에 접종하여 35.5±0.5°C의 배양기에서 48±2 hr 동안 배양하여 양성반응 결과에 대해 MPN (Most Probable Number)법으로 균수를 산출하였다. 분변계대장균 유무에 대한 분석은 추정시험에서 가스가 발생한 시험관을 EC 배지(EC Broth, Difco, USA)에 접종 후 44.5±0.2°C의 배양기에서 24±2 hr 배양하여 증식이 된 경우를 확정시험 양성으로 판정해 MPN법으로 균수를 산출하여 확인하였다.

3. 해역방출오염원의 영향 반경 산정

해역방출오염원의 영향 반경은 유량과 위생학적 결과 및 LCD digital sounder (PS-7, HONDEX, Japan)를 이용하여 측정된 해역 수심 평균값을 근거로, 미국 FDA의 NSSP Guide for the Control of Molluscan Shellfish (US FDA, 2015)에 명기된 해수 중 분변계 대장균 14 MPN/100 ml 이하(허가해역)가 되도록 희석시킬 수 있는 물의 양을 산출하여 영향 반경으로 산정하였다.

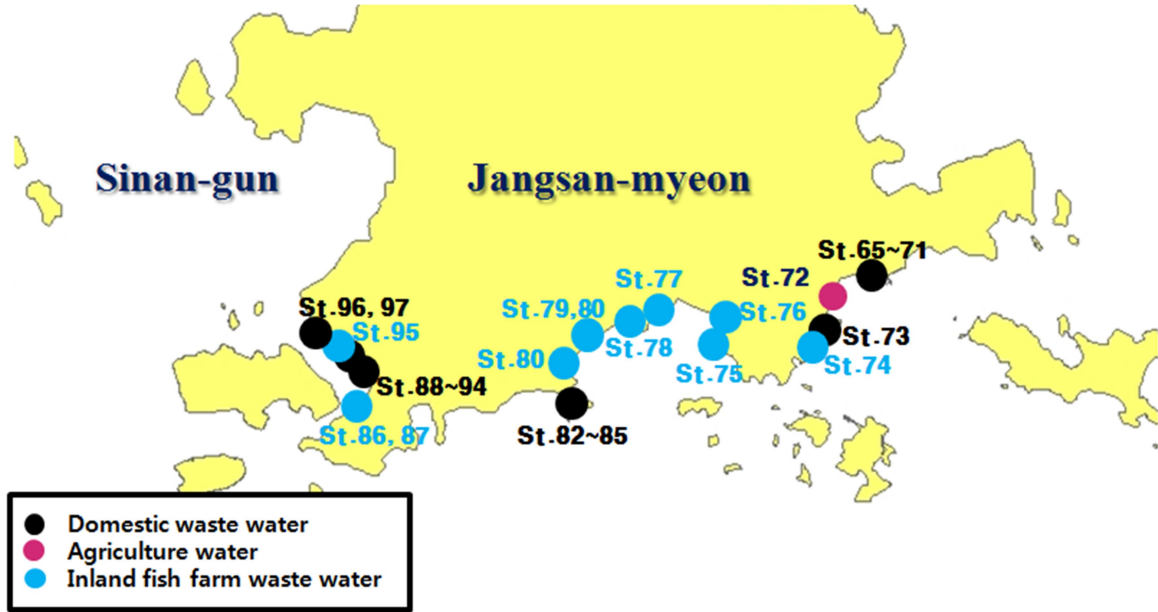


Fig. 2. Pollution source in shoreline of Jangsan-myeon sub-area.

결과 및 고찰

1. 육상오염원 및 해역 양식 현황

육상오염원의 배수용수 배출장소를 기준으로 현장조사를 실시한 결과, 오염원의 수는 총 33개소(St. 65~97)로 확인되었고, 조사된 오염원들의 종류는 생활하수 21개소, 농업용수 1개소, 육상양식장 11개소로 분류되었다(Fig. 2).

신안 장산도 남부해역의 양식현황 중 패류양식에서는 전복, 굴 등의 양식이 행해지고 있다(Table 1). 면허건수는 총 18건으로 양식면적은 약 93.0 ha 정도를 차지하고 있다. 그리고 해조류 양식은 김, 다시마, 툇 등을 양식하고 있으며 면허건수는 37건, 양식면적은 약 813.0 ha 정도이다. 또한 패류, 해조류 이외에 어류 양식도 행해지고 있으며 총 면허건수는 2건이고, 어업면적은 2.5 ha 이다. 장산해역의 총 양식면허건수는 92건이며, 총 양식면적은 2,094.7 ha를 차지하고 있다.

2. 해역방출오염원 유량 및 위생학적 특성

종류별로 구분된 오염원의 해역방출 유무를 파악하고 방출되는 오염원의 유량과 배출 파이프의 실측 지름 및 위생학적 성상 분석 결과를 Table 2~4에 나타냈다. 육상오염원 중 생활하수는 총 21개소로 팽진리에 8개소(St. 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 73), 다수리에 13개소(St. 82, 83, 84, 85, 88, 89, 90, 91, 92, 93, 94, 96, 97)가 위치

Table 1. The fishery licenses and production amount in Jangsan (Sinan Statistical Year Book, 2016)

Kind of fishery	Species	No. of license	Area (ha)
Shellfish	Oyster	1	10
	Abalone	17	83
	Laver	14	423
Seaweed	Sea tangle	9	139
	<i>Sargassum fulvellum</i>	4	3
	Sea weed fusiforme	8	148
	Green laver	2	50
Fishing culture	Fish	1	2
	Crustacean	1	11
Other		35	1186
Total		92	2095

하는 것으로 파악되었으며 모든 생활하수는 해역으로 방출되지 않았다(Table 2).

농업용수로 이용된 후 배출되는 오염원은 팽진리의 1개소(St. 72)로 파악되었다. 이 정점에서는 Table 3에 나타난 바와 같이 해

역으로 오염원이 방출되고 있었으며 위생지표세균인 대장균군은 2,300 MPN/100 ml, 분변계 대장균 490 MPN/100 ml로 비교적 높은 값으로 분석되었다. 이는 인근 육상지역 농업에 축산분뇨 (Jeong, 2009)가 비료로 이용될 가능성을 내포하는 결과라 할 수

있다.

육상양식장으로 분류된 지점은 총 11개소로 모두 새우양식장으로 확인되었다. 이 중 3개소(St. 77, 80, 86)는 해역으로 오염원이 미방출 되었으나 그 외 8개소(St. 74, 75, 76, 78, 79, 81, 87, 95)에서

Table 2. Domestic waste water identified at Jangsan-myeon sub-area in Sinan

No.	Type of discharge	Size of ditch or drain pipe (cm)	Discharge volume (l/min)	MPN/100 ml	
				Total coliform	Fecal coliform
65	DW*	Ø35	-	-	-
66	DW*	Ø40	-	-	-
67	DW*	Ø40	-	-	-
68	DW*	Ø40	-	-	-
69	DW*	Ø20	-	-	-
70	DW*	Ø35	-	-	-
71	DW*	Ø25	-	-	-
73	DW*	Ø65	-	-	-
82	DW*	Ø35	-	-	-
83	DW*	Ø20	-	-	-
84	DW*	Ø65	-	-	-
85	DW*	Ø20	-	-	-
88	DW*	Ø65	-	-	-
89	DW*	Ø65	-	-	-
90	DW*	Ø65	-	-	-
91	DW*	Ø35	-	-	-
92	DW*	Ø55	-	-	-
93	DW*	Ø35	-	-	-
94	DW*	Ø35	-	-	-
96	DW*	Ø35	-	-	-
97	DW*	Ø35	-	-	-

*Domestic waste water

Table 3. Agriculture water identified at Jangsan-myeon sub-area in Sinan

No.	Type of discharge	Size of ditch or drain pipe (cm)	Discharge volume (l/min)	MPN/100 ml	
				Total coliform	Fecal coliform
72	AW*	180 × 170	180,000	2,300	490

*Agriculture water

Table 4. Inland fish farm waste water identified at Jangsan-myeon sub-area in Sinan

No.	Type of discharge	Size of ditch or drain pipe (cm)	Discharge volume (l/min)	MPN/100 ml	
				Total coliform	Fecal coliform
74	IW*	110 × 120	112,500	79	49
75	IW*	100 × 120	72,857	1,400	22
76	IW*	110 × 260	28,235	<1.8	<1.8
77	IW*	85 × 85	-	-	-
78	IW*	120 × 120	109,091	<1.8	<1.8
79	IW*	180 × 180	100,000	6.8	6.8
80	IW*	170 × 190	-	-	-
81	IW*	150 × 240	316,636	6.8	6.8
86	IW*	150 × 150	-	-	-
87	IW*	90 × 90	100,000	7.8	7.8
95	IW*	120 × 120	281,250	<1.8	<1.8

*Inland fish farm waste water

Table 5. Calculated radius of the impacted zone by discharge water from major inland pollution sources in the drainage basin of Sinan

No.	Lowest depth (m)	Discharge volume (l/min)	Fecal coliform (MPN/100 ml)	Determined loading (MPN/ day)	Dilution water required (m ³)	Area required (m ²)	Radius of half-circle (m)
72	0.3	180,000	490	1.3×10^{12}	9,072,000	30,240,000	4,389
74	0.1	112,500	49	7.9×10^{10}	567,000	5,670,000	1,900
75	0.4	72,857	22	2.3×10^8	164,865	412,163	512
76	0.3	28,235	<1.8	6.9×10^8	4,937	16,457	102
78	0.6	109,091	<1.8	2.7×10^9	19,075	31,792	142
79	0.4	100,000	6.8	9.8×10^9	69,943	174,857	334
81	0.4	316,636	6.8	3.1×10^{10}	221,464	553,661	594
87	0.4	100,000	7.8	1.1×10^{10}	80,229	200,571	357
95	0.4	281,250	<1.8	6.9×10^9	49,179	122,946	280

해역으로 오염원을 방출하고 있었다(Table 4). 오염원 방출량은 St. 81에서 316,636 l/min로 가장 많은 양으로 측정되었고 그 외 St. 95, 74, 78 순으로 100,000 l/min를 초과하여 방출되고 있었다. 육상양식장의 위생지표세균을 분석한 결과 2개소(St. 74, 75)에서 비교적 많이 검출되었고 그 외 6 개소(St. 76, 78, 79, 81, 87, 95)에서는 14 MPN/100 ml 미만으로 확인되었다.

3. 해역방출오염원의 영향 반경

해역에 방출되는 오염원이 확산되어 분변계 대장균을 14 MPN/100 ml 이하로 희석시킬 수 있는 물의 양으로 산출하였을 때 미치는 영향 반경은 Table 5에 나타났다. 총 3개소(St. 72, 74, 75)에서 분변계 대장균의 양이 비교적 많이 검출되어 이들의 영향 반경을 산출한 결과, 농업용수인 St. 72정점은 유량 180,000 l/min, 수심 0.3 m를 적용하였을 때 4,389 m의 영향 반경을 보였다. 육상양식

장 St. 74정점은 유량 112,500 l/min, 수심 0.1 m를 적용하였을 경우 1,900 m, 육상양식장 St. 75정점은 유량 72,857 l/min, 수심 0.4 m를 적용하였을 경우 512 m로 영향 반경이 산출되었다. 이들 정점은 서로 인접하여 육상오염원 배출수가 미치는 영향 반경이 중첩될 수 있고 이러한 중첩 효과는 해수 위생상태에 대한 추가적인 조사를 통해 파악할 필요가 있을 것으로 사료된다. 그 외 육상양식장 5개소(St. 76, 78, 79, 87, 95)에서는 비교적 적은 양의 분변계 대장균이 검출되어 400 m 이하의 영향 반경을 나타냈고, 육상양식장 St. 81의 경우는 분변계 대장균 검출량은 적으나 유량이 326,636 l/min으로 가장 많이 방출되어 영향 반경이 594 m로 비교적 높게 산정되었다.

미국 FDA에서는 "NSSP Guide for the Control of Molluscan Shellfish"에 명기된 해수 중 분변계 대장균의 기하학적 평균치 및 계산된 백분위수에 따라 지점별로 허가해역, 제한해역, 금지해역 등으로 구분하여 제시하고 있다(US FDA, 2015). 이 기준에 따르면 해수 중 분변계 대장균 14 MPN/100 ml 이하를 허가해역으로 구분하는데 본 연구의 해역 방출수 조사 결과에서는 허가해역 수질 기준을 초과하지 않는 정점이 대부분이었다. 다만 허가해역 기준을 초과하는 오염원은 총 3개소(St. 72, 74, 75)로 파악되었으며, 신안 장산 남부해역의 안전한 위생상태를 확보하기 위해서는 해수의 위생상태에 대한 조사와 더불어 영향 반경 결과를 고려한 이들 오염원에 대한 관리가 필요하다고 판단된다.

사 사

이 논문은 2016년도 국립수산물과학원 특정연구사업(정책연구사업)의 지원으로 수행된 연구이며 연구비 지원에 감사 드립니다. 또한 논문은 2016년도 호남씨그랜트센터 연구개발사업에서 지원되었습니다.

참고문헌

- APHA. 1970. Recommended Procedure for the Examination of Sea Water and Shellfish. Amer Publ Health Assoc 1-47.
- Cho ES, Kim SS, Lee SY, Jeong HD, Kim SY. 2009. Marine Environmental Characteristics in Western Coastal Waters of the South Sea of Korea. J Korean Soc Mar Environ Saf 15: 187-203.
- Choi JD, Kim JG. 2002. Bacteriological and Physicochemical Character of Sea Water and Sediments in South Western Part of Jinhae Bay, Korea. J Kor Fish Sci 35: 621-626.
- Choi JD, Jwong WG, Kim PH. 1998. Bacteriological Study of Sea Water and Oyster in Charan Bay, Korea. J Kor Fish Sci 31: 429-436.
- Choi JD. 1995. Distribution of Marine Bacteria and Coliform Groups in Puksin Bay, Korea. J Kor Fish Sci 28: 202-208.
- Choi WK, Chang DS, Lee JG, Kwon JG. 1974. Sanitary Survey of Oyster Growing Area in Geoje Bay. Bull Pusan Fish Coll 14: 28-42.
- Hwang KW, Gong YW, Lee JM, Go JM, Kim YH, Oh BY. 2008. Distribution and Characteristic of Growth of *Vibrio spp.* in Incheon Coastal Area. J Environ Sanit Eng 23: 31-38.
- Jeong DY. 2009. Optimal Mixing Ratio of Wastewater from Food Waste and Cattle Manure and Hygienic Aspect in Batch Type Anaerobic Digestion. J Korea Org Resour Recycl Assoc 17: 93-100.
- Korea Rural Economic Institute. 2017. Food Supply and Demand Table.
- Kwon JY, Park KBW, Song KC, Lee HJ, Park JH, Kim JD, Son KT. 2007. Evaluation of the Bacteriological Quality of a Shellfish Growing Area in Kamak Bay, Korea. J Fish Sci Technol 11: 7-14.
- Lee HJ. 2013. Improvement of Hygienic Management in Shellfish Production Area. In: Choi HH (ed.). Fisheries and aquaculture. KFPA Inc., Korea, pp 39-44.
- Ministry of Oceans and Fisheries. 2014. <http://fips.go.kr>.
- Park KBW, Jo MR, Kwon JY, Son KT, Lee DS, Lee HJ. 2010. Evaluation of the Bacteriological Safety of the Shellfish Growing Area in Gangjinman, Korea. J Kor Fish Sci 43: 614-622.
- Park YM, Yoon HJ, Ham IT, Yoo HJ, Choi JD. 2015. Evaluation of the Microbiological Safety for the Seawater in a part of the South Coast, Korea. J Food Hyg Saf 30: 350-358.
- Sinan Statistical Year Book. 2016. Agriculture, Forestry and Fishing. Sinan Gun. Vol. 56 p 101-146.
- Song KC, Lee DS, Shim KB, Lim CW, Mog JS, Byun HS, Park YJ, Cho KC. 2008. Evaluation of Bacteriological Safety for the Shellfish Growing Waters in Taean Area Korea. J Kor Fish Sci 41: 155-162.
- US FDA. 2015. NSSP Guide for the Control of Molluscan Shellfish.